

УДК 628.345.4

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД УБОЙНОГО ЦЕХА ПТИЦЕФАБРИКИ КОАГУЛЯЦИЕЙ

К. А. МАХЛАЙ*, М. А. ЦЕЙТЛИН, В. Ф. РАЙКО

кафедра Химической Техники и Промышленной Экологии (ХТПЭ), НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

*e-mail: cancermakh@gmail.com

АННОТАЦИЯ Для очистки сточных вод пищевых предприятий, в частности мясообрабатывающих, широкое распространение получила напорная флотация. Данный метод очистки весьма надежен и эффективен особенно в сочетании с предварительной коагуляцией. Залогом высокой эффективности работы физико-химической очистки являются как наладка гидравлического режима работы флотатора, так и подбор наиболее подходящих реагентов, их доз и условий среды для их применения. Однако данная задача усложняется ввиду высокой непохожести стоков разных предприятий между собой, и, зачастую, технологические параметры работы этого узла не могут быть спрогнозированы. В статье изучены закономерности протекания коагуляции сточных вод мясоперерабатывающего предприятия с применением трех типов коагулянтов: хлорное железо, сернокислое железо, полиоксихлорид алюминия. В качестве объекта исследования был взят сточные воды действующего предприятия по переработке мяса индейки. Предприятие специализируется на выпуске мяса индейки и мясных полуфабрикатов. Поступающие стоки образуются от убоя, мойки и потрошения птицы, а также мойки оборудования и уборки помещений и содержат большое количество загрязнений таких как: кровь, перо, каньга. Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе экспериментально были определены закономерности протекания коагуляции в широком диапазоне pH среды и получены графики, отображающие зависимость эффективности очистки по взвешенным веществам и цветности от pH среды. Затем, на втором этапе исследования, были исследованы зависимости эффективности очистки от дозы коагулянта. В результате проведенных исследований определены наиболее благоприятные условия для проведения коагуляции и рациональные дозы коагулянтов. При применении сульфата железа наиболее благоприятным является pH = 5÷6, а доза 30 мг/л, хлорного железа pH = 5÷6, доза 40 мг/л, а для полиоксихлорида алюминия pH составил 5,5 ÷ 7, а доза коагулянта 60 мг/л. Важной составляющей эффективной очистки стоков на флотаторе является правильный подбор типа коагулянта, его дозы и pH среды для проведения коагуляции.

Ключевые слова: коагулянт; порог коагуляции; хлорное железо; сернокислое железо; сточные воды птицефабрики; локальная очистка; технологический режим; доза коагулянта

WASTEWATER TREATMENT BY COAGULATION OF POULTRY ABATTOIR WASTEWATER

К. МАХЛАЙ*, М. ЗЕЙТЛИН, В. РАЙКО

Department of chemical technique and industrial ecology, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT There is dissolved air flotation has become widespread for treatment of food industry sewage, especially for meat plants. This type of purification is enough reliable and effective, especially in combination with preliminary coagulation. There are two main parameters of high physical and chemical cleaning efficiency: adjustment hydraulic mode of the dissolved air flotation unit and the selection of the most suitable reagents, their doses and environment condition for their usage. However, this task is complicated due to the high dissimilarity of the waste of different enterprises among themselves, and, often, the technological parameters of the work of this site can't be predicted. This article is studies the patterns of coagulation of wastewater from a meat processing plant using three types of coagulants: ferric chloride, ferrous sulphate, aluminum polyoxychloride. The wastewater of existing factory which produce turkey meat was chosen as object of the study. The factory is specializes in the production of turkey meat and meat semi-finished products. Inlet wastewater are coming from slaughter, washing and gutting birds, also from washing equipment and compartments and contain a large amount of contaminants such as blood, feather, canyga. The study was conducted in two stages. At the first stage, relations of coagulation of pH of wastewater were determined experimentally in a wide range and graphics were obtained showing the dependence of the cleaning efficiency from suspended solids and color relation of the pH of wastewater. Relation of cleaning efficiency from coagulant dose was investigated at the second stage. The most kindly conditions of wastewater for coagulation and rational doses of coagulants were determined in results of this research. The most coverable conditions for coagulation with iron sulfate usage are dose is 30 mg/l and pH 5 ÷ 6, for ferric chloride – dose 40 mg/l, pH 5 ÷ 6, and dose 60 mg/l, pH 5,5 ÷ 7 for aluminum polyoxychloride. An important component of effective wastewater treatment at the flotation cell is the correct selection of the type of coagulant, its dose and the pH of the wastewater for coagulation.

Keywords: coagulant; coagulation threshold; ferric chloride; ferrous sulphate; wastewater of abattoir; local treatment; technological regime; coagulant dose

Введение

Многие предприятия пищевой промышленности сталкиваются с проблемами

недостаточно эффективной локальной очисткой производственных стоков. Данная проблема влечет за собой ухудшение работы последующих очистных сооружений биологической очистки, а также

наложение штрафов на предприятия, вплоть до полного закрытия производства.

Часто, проблема заключается в не отлаженном технологическом режиме работы локальных очистных сооружений, которые в большинстве случаев представлены физико-химической очисткой. Одним из основных аспектов наладки технологического режима является корректно подобранные реагенты и условия их применения.

Литературный обзор

Сточные воды убойного цеха птицефабрики представляют собой сложную систему содержащую большое количество высококонцентрированных загрязнений, как органических так не органических [1,2]. В основном загрязнения представлены: пером, пухом, кровь, шкура, песок, каньга, моющие средства и т.п. [3,4]. Сточные воды образуются на всех этапах производства и, зачастую, поступают на очистку в виде смеси сточных вод разных цехов предприятия. Для локальной очистки на предприятиях пищевой промышленности наиболее широкое распространения получила реагентная напорная флотация [5]. Этот метод очистки сточных вод может быть достаточно эффективен при хорошо отлаженном технологическом режиме [6]. Отладка же технологического режима включает в себя множество этапов, при этом одним из фундаментальных является подбор коагулянта, его дозы и условий среды для проведения коагуляции.

Проводимы исследования в данной области показывают, что определение оптимальных условий применения коагулянтов и их доз на основании уже имеющихся результатов достаточно проблематично из-за значительного разброса получаемых данных и отсутствия их систематизации [7]. К примеру, в работе [8] для сточных вод скотобойни был определен рабочий диапазон $pH \approx 6$, и доза коагулянта хлорного железа 600 мг/л. В работе [9] удалось добиться наиболее интенсивной коагуляции при $pH = 10$ и дозе сульфата железа 350 мг/л. Для сточных вод предприятия по переработки мяса индейки были подобраны: $pH = 5,1 \div 5,7$ и доза 110 мг/л сульфата железа, $pH = 6,2 \div 6,7$ и доза 80 мг/л хлорида железа и $pH = 5,9 \div 6,4$, а доза 140 мг/л полиоксихлорида алюминия [10].

Такой широкий разброс связан данных со многими факторами: применяемые на производстве реагентов, культура производства, качество используемой на предприятии воды и многое другое [11,12].

Всё это значительно усложняет и затягивает во времени процесс технологической наладки локальной очистки на предприятиях.

Цели и задачи исследования

Цель проводимых исследований заключаются в поиске наиболее оптимальных условия для

коагуляции сточных вод убойного цеха птицефабрики. В частности, путем экспериментального обоснования рациональных доз коагулянтов и pH среды для их применения.

Для достижения поставленных целей, была установлена степень влияния pH среды и дозы коагулянта на эффективность очистки от взвешенных веществ и цветности. Определены наиболее благоприятные pH среды для каждого из исследуемых коагулянтов, а также определены рациональные дозы реагентов.

Материалы и методы проведения исследования

В качестве объекта исследования были выбраны сточные воды убойного цеха предприятия по переработке мяса индейки. Сточные воды поступают от убоя и потрошения птицы, мойки и дезинфекции оборудования и помещений.

Исследуемый сток содержит: жиры, белки, частицы органики, а также механические загрязнения и песок. Для усреднения состава и расхода сточных вод на предприятии предусмотрен усреднитель с механическим перемешиванием. Характеристики поступающих на очистку сточных вод приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Состав производственных сточных вод, поступающих на очистку

Наименование параметра	Ед. изм.	Величина показателя
Взвешенные вещества	мг/л	1000
ХПК	мгО ₂ /л	3950
БПК ₅	мгО ₂ /л	2200
Жиры	мг/л	600
pH	-	6÷8
Максимальная температура воды	°C	35
Минимальная температура воды	°C	24

При проведении исследования применялись следующие реагенты:

1. Коагулянты: полиоксихлорид алюминия АКВА-АУРАТ-18 ТУ 2163-069-00205067-2007; ($Al_2O_3 = 17 \pm 0.5 \%$) коагулянт железосодержащий FER-AQUA-17 ($Fe_2(SO_4)_3$ ТУ У 20.1-03327724-006:2013, массовая доля Fe^{3+} не менее 13,7 %); коагулянт хлорное железо $FeCl_3$ ТУ 2152-081-56856807-08, массовая доля хлорного железа не менее 40 %.

2. Реагенты для корректировки pH : гидроксид натрия NaOH по ГОСТ Р 55064-2012; раствор лимонной кислоты ($H_6C_8O_7$ 8 – 9 %).

Для определения рационального pH , отобранная из усреднителя сточную вода набиралась мерные стаканы объемом 0,5 л. Затем добавляли коагулянт, корректор pH (кислоту или щелочь) и

производили перемешивание в два этапа: сначала быстрое, а после медленное. Образовавшуюся суспензию отстаивали в течение 30 минут с последующим отбором пробы осветленной воды и измерением показателей ее качества.

Аналогичным образом производился подбор дозы коагулянта.

Измерения проводились при помощи стандартных измерительных приборов: портативного влагозащищенного рН Meter Hanna HI 9124 и колориметра HACH DR/890. Содержание взвешенных веществ измерялось в миллиграммах в литре и цветность исследуемых образцов в градусах цветности по Pt-Co шкале цветности определялась фотометрическим методом.

Эффективность очистки от взвешенных веществ в процентах определялась как отношение содержания взвешенных веществ в очищенной пробе к содержанию взвешенных веществ в исходном стоке. Эффективность снижения цветности в процентах определялась как отношение оптической плотности очищенного образца к оптической плотности исходного стока.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались с помощью электронных таблиц на программном обеспечении MS Office Excel.

Исследования влияния рН среды на коагуляцию сточных вод

Сернокислородное железо

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от рН среды с применением сернокислородного железа приведено на рис. 1. На приведенном графике видно, как с увеличением рН от 1,9 до 4 происходит стремительное возрастание эффективности с 32 до 85 %. При увеличении рН до 4,5 – 5,5 кривая эффективности достигает своего максимума – эффективности 85-89 %. Последующее подкисление среды приводит к постепенному ухудшению качества очистки: так при рН = 7,2 эффективность очистки составила 81 %, при рН = 8,5 – 73%, а при рН = 10,9 – снизилась до 57%.

Аналогичные зависимости прослеживаются и на кривой изменения цветности очищенной пробы (рис. 2). Наименьшая цветность очищенной пробы достигается при 4,5 – 6 и ухудшается при смещении рН как в кислую так и щелочную среду.

Полиоксихлорид алюминия

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от рН среды с применением полиоксихлорида алюминия приведено на рис. 3. Как видно из графика, увеличение рН с 2 до 4 практически не изменяют эффективность очистки – 55 %. При этом повышение рН среды с 4 до 5 приводит к стремительному возрастанию эффективности с 55 до 80 %. Последующее увеличение рН постепенно улучшает

качество очистки и достигаем максимального значения 91 % при рН = 6. Дальнейшее подщелачивание среды до 8 постепенно снижает эффективность очистки до 86 ÷ 88 %. Последующее увеличение рН приводит к резкому снижению эффективности – так при рН = 9 эффективность составила 80%, при 10 – 70 %, а при рН = 12 – 40 %.

Результаты изменения цветности очищенной пробы при разных рН среды с применением коагулянта ПОХА приведены на рис. 4.

На графике видно, что наименьшая цветность пробы получается при рН среды от 4 до 8, смещение кислотно-щелочного баланса как к кислотной, так и к щелочной среде приводит повышению цветности очищенной воды. Так при рН 4÷8 значение цветности находилось в диапазоне 180 ÷ 240 град (Pt-Co), при смещении баланса в кислую среду цветность возросла до 300 – 550 град (Pt-Co). Аналогичное ухудшение наблюдается и при подщелачивании среды.

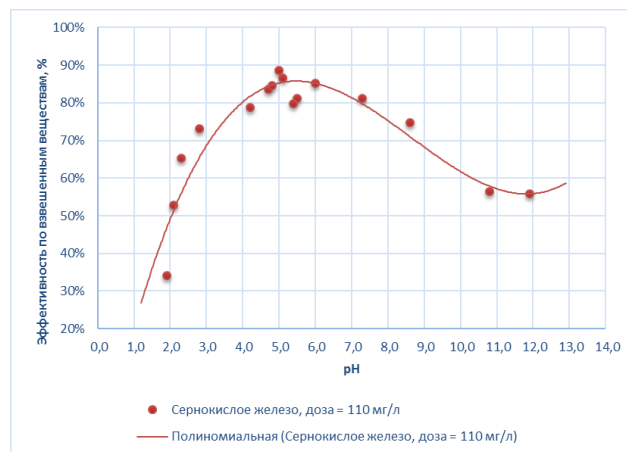


Рис. 1 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта сернокислородное железо с различными дозами реагента и рН среды

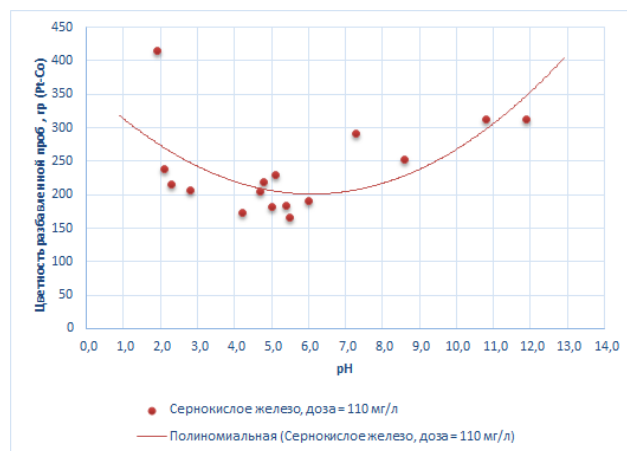


Рис. 2 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта сернокислородное железо при разных значениях рН среды

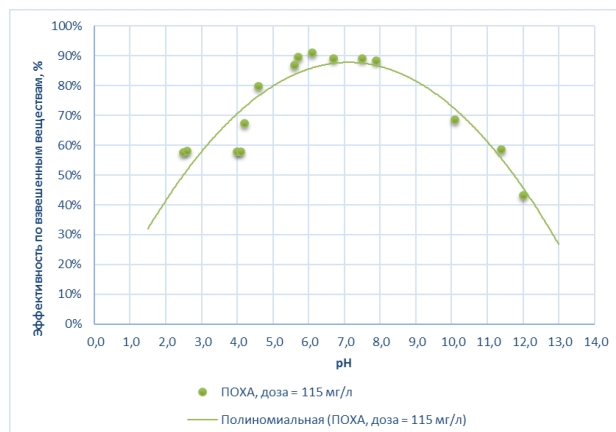


Рис. 3 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия с различными дозами реагента и pH среды

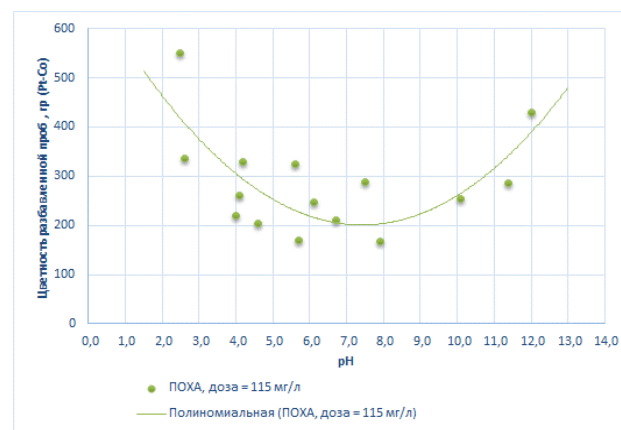


Рис. 4 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия при разных значениях pH среды

Хлорное железо

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от pH среды с применением хлорного железа приведено на рис. 3. Повышение pH среды с 1,5 до 4 приводит к стремительному повышению эффективности извлечения взвесей. При pH 1,5 эффективность очистки, приблизительно равна 30-35%, а при pH = 2 уже 45-50 %. Последующее увеличение pH до 5 постепенно повышает эффективность до 75-80 % и достигает своего максимума в диапазоне от 5 до 6. При этом эффективность достигает значений 90 %. Последующее подщелачивание среды снижает эффективность и при pH = 11 она составляет 50 %.

График изменения цветности очищенной пробы с применением хлорного железа при разных pH приведен на рис.6.

Так же как и графика эффективности по взвешенным веществам, экстремум находится в диапазоне pH = 5 ÷ 6. При этом снижение pH значительно быстрее повышает цветность пробы, в то время как увеличение pH, вплоть до 12 не дает такого стремительного ухудшения качества очистки.

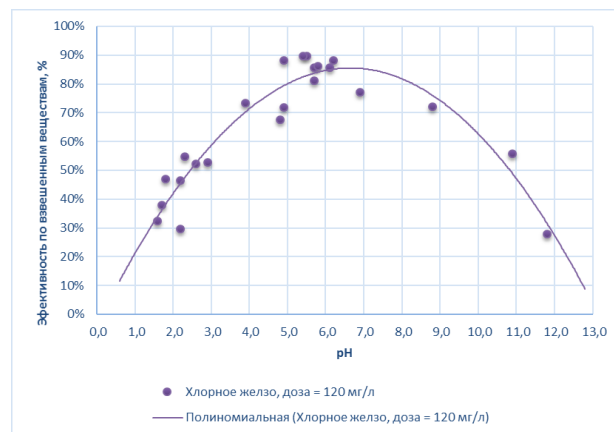


Рис. 5 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта хлорное железо с различными дозами реагента и pH среды

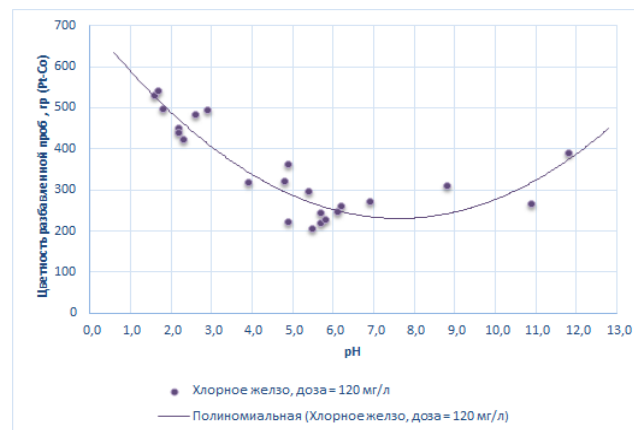


Рис. 6 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта хлорное железо при разных значениях pH среды

На основании изложенного выше материала можно сделать заключение, что для коагулянта сернокислого железа наиболее оптимальным pH для данного типа стоков является диапазон pH от 5 до 6. Для коагулянта ПОХА оптимальный диапазон pH = 5,5 ÷ 7, для хлорного железа pH = 5 ÷ 6. В этих диапазонах были достигнуты наиболее высокие показатели качества очистки стока, отклонение от них приводит к снижению качества очистки.

Влияние дозы коагулянта на эффективность очистки сточных вод

График изменения эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от дозы сульфата железа приведены на рис. 7.

При низкой дозе коагулянта (15 мг/л) эффективность очистки составила 86%, последующее увеличение дозы реагента резко повышает эффективность очистки. Повышение эффективности достигает своего максимального значения при дозе 93 ÷ 95% при дозе 30 ÷ 40 мг/л. Последующее увеличение дозы несколько снижает эффективность

очистки, при дозе 50 мг/л эффективность снижается до 90 % и остается практически не измененной с последующим увеличением дозы коагулянта.

Результаты исследования влияния дозы сернокислого железа на эффективность очистки по взвешенным веществам приведены на рис. 8.

При дозе коагулянта 20 мг/л эффективность составила 80 %, последующее увеличение дозы коагулянта повышает эффективность очистки. При дозе 30 мг/л, она составила 83%, а при 40 мг/л уже 92 %. При этом последующее увеличение дозы, вплоть до 370 мг/л, не улучшает качество очистки.

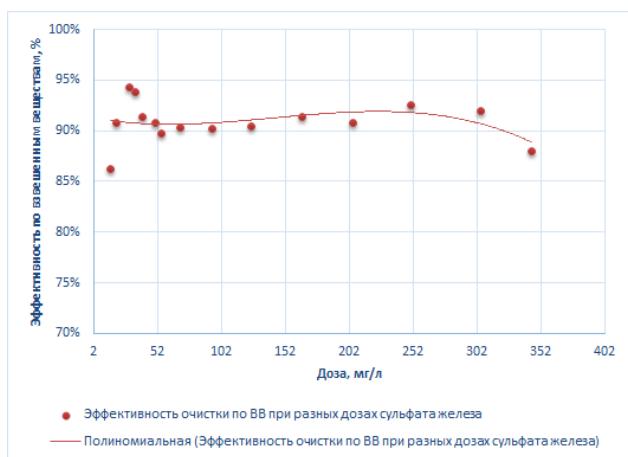


Рис. 7 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта сернокислого железа с различными дозами реагента при pH (5÷6)

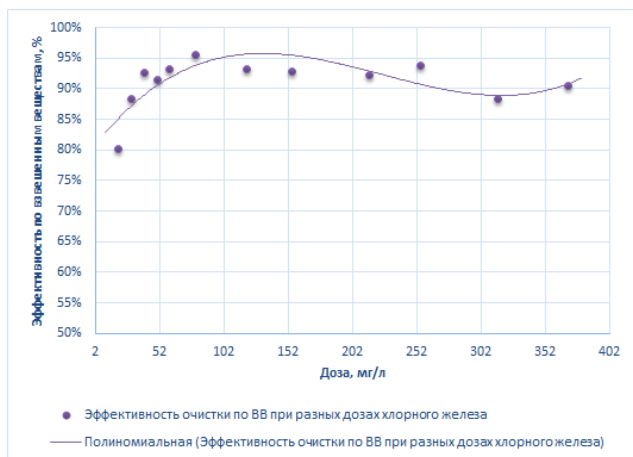


Рис. 8 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта хлорное железо с различными дозами реагента при pH (5÷6)

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ с применением ПОХА приведены на рис. 9.

При дозе коагулянта 25 мг/л эффективность очистки составила 83%, при последующем увеличении дозы до 70 мг/л эффективность постоянно увеличивалась и достигла значения 95 %. При

последующем повышении дозы эффективность несколько снизилась – до 90 % при дозе 185 мг/л. При последующем увеличении дозы коагулянта эффективность постепенно начала повышаться до значений 94-95 %.

Изменение цветности очищенной пробы с применением сульфата железа показано на рис. 10. Увеличение дозы коагулянта с 15 мг/л до 30 мг/л снижает цветность очищенной пробы со 180 град до 100 град. Последующее повышение дозы до 54 мг/л не влечет за собой увеличение цветности. При последующем повышении дозы реагента цветность постепенно возрастает.

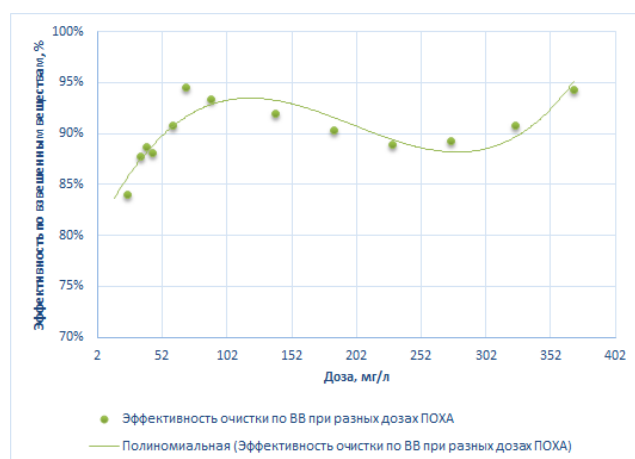


Рис. 9 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия с различными дозами реагента при pH (5,5÷7)

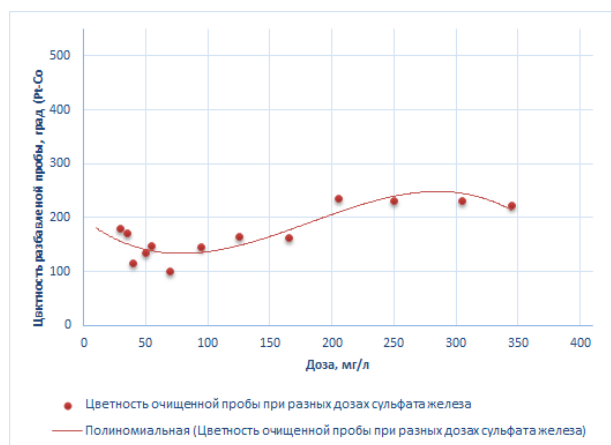


Рис. 10 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта сернокислого железа при разных дозах реагента при pH (5÷6)

Кривая изменения цветности очищенной пробы от дозы хлорного железа приведена на рис. 11.

Как видно из приведенного графика, наименьшая цветность очищенной пробы была зафиксирована при дозе коагулянта 40 мг/л и

составили 130 град. Уменьшение дозы реагента до 20 мг/л приводит к увеличению цветности до 270 град. При этом увеличение дозы вплоть до 370 мг/л не приводит к значительному изменению цветности – она остается в пределах 150 ÷ 190 град.

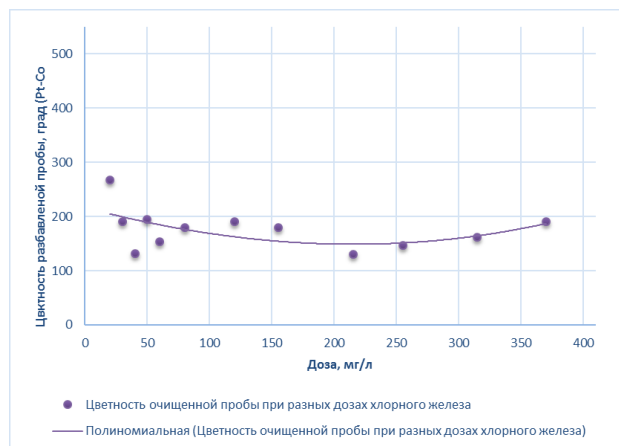


Рис. 11 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта хлорное железо при разных дозах реагента при pH (5÷6)

На рис. 12 приведена кривая изменения цветности в зависимости от дозы полиоксихлорида алюминия. Из данных, приведенных на графике видно, что цветность очищенной пробы в широком диапазоне дозы коагулянта 35 ÷ 370 мг/л, цветность остается практически неизменной и нлжит в диапазоне от 110 до 165 град. И лишь при малых дозах коагулянта (менее 35 мг/л) снижается и достигает значения 225 град при дозе 15 мг/л.

порог коагуляции у сульфата железа ниже. А формы кривых эффективности очистки от взвешенных веществ значительно разнятся: у сульфата железа при достижении порога коагуляции (30 мг/л) наблюдается максимальная эффективность ≈ 95 %, при последующем увеличении дозы эффективность снижается до ≈ 90%. При применении же хлорного железа максимальная эффективность (95 %) достигается при дозе 40 мг/л и с последующим увеличением дозы реагента остается практически не изменной. Данный факт немаловажен при выборе типа реагента – как изменится эффективность очистки при отклонении от технологически оптимальных параметров, что в условия реального стоке бывает весьма часто.

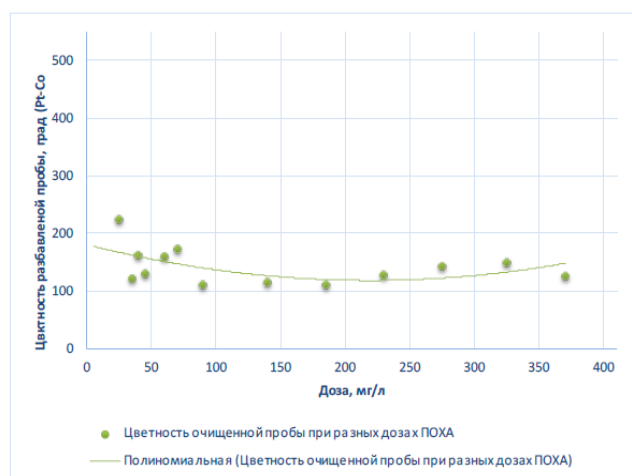


Рис. 12 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия при разных дозах реагента при pH (5,5÷7)

Обсуждение результатов исследования влияния pH среды и дозы реагентов на процесс коагуляции сточных вод

Полученные результаты по определению рациональных доз коагулянтов и pH стоков приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Оптимальные значения pH стоков и дозы коагулянтов

Коагулянт	Оптимальный pH	Доза коагулянта мг/л
Сульфат железа	5÷6	30
Хлорное железо	5÷6	40
Полиоксихлорид алюминия	5,5÷7	60

Как видно из приведенной выше таблицы для всех исследованных типов коагулянтов наиболее высокая эффективность очистки достигается в слабокислых условиях среды с pH в интервале 5 ÷ 7. Стоит отметить, что у обоих коагулянтов на основе солей железа рабочий диапазон pH одинаков, однако

При применении полиоксихлорида алюминия диапазон значений pH более широкий, чем при применении железосодержащих коагулянтов, однако остается заметный желто-розовый окрас очищенной пробы. Кривая эффективности очистки от взвешенных веществ аналогична полученной с применением сернокислого железа: с экстремумом на пороге коагуляции и последующим снижением эффективности. Отличием является то, что при применении ПОХА эффективность очистки с повышением дозы коагулянта эффективность очистки вновь возрастает, в отличие от сернокислого железа. Так максимальная эффективность очистки (95 %) достигается при дозе коагулянта в 70 мг/л и затем 370 мг/л. Аналогичные колебания происходят и с цветностью очищенной пробы.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых локальных очистных сооружений предприятий пищевой промышленности со схожей выпускаемой продукцией. Так же, материалы, изложенные в данной работе, могут быть применены при модернизации и технологической наладке существующих очистных, состав стоков которых

близок к исследованному в данной работе. Важным направлением продолжения исследований является выявление факторов, значимо влияющих на технологический режим физико-химической очистки сбросных жидкостей, и количественная оценка этого влияния.

Выводы

Рациональными диапазонами pH среды для протекания процесса коагуляции являются: 5÷6 для сульфата железа и хлорида железа; 5,5÷7,0 – полиоксихлорида алюминия;

Порогом коагуляции является доза коагулянта: 30 мг/л для сульфата железа; 40 мг/л – для хлорида железа; 60 мг/л – полиоксихлорид алюминия;

Наиболее предпочтительно применение хлорного железа поскольку: его эффективность максимально высока и достигается в наиболее широких диапазонах доз и pH.

Список литературы

1. Меншутин, Ю. А. Модернизация технологии очистки жиродержащих сточных вод / Ю. А. Меншутин, В. А. Потанина, А. С. Керин, И. А. Богатеев, Е. В. Фомичева, А. П. Сахно, К. А. Керин // *Птицеводство*. – 2010. – № 9. – С. 41-44.
2. Nacheva, P. M. Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor P. M. Nacheva et al. Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor / P. M. Nacheva, M. R. Pantoja, E. A. Serrano // *Water science and Technology*. – 2011. – Т. 63. – № 5. – P. 877-884. – doi: 10.2166/wst.2011.265.
3. Bustillo-Lecompte, C. F. Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater / C. F. Bustillo-Lecompte, M. Mehrvar, E. Quiñones-Bolaños // *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. – 2013. – 48. – 9. – P. 1122-1135.
4. Sugito, D. K. The effect of BOD remove influent to remove pollutant load in waste water of chicken slaughterhouse / D. K. Sugito // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2016. – №11. – P. 3519 – 3524. – doi: 10.1080/10934529.2013.774662.
5. Dabhi, Y. M. Physicochemical Treatment of Dairy Plant Wastewater Using Ferrous Sulfate and Ferric Chloride Coagulants / Y. M. Dabhi // *International Journal of Basic and Applied Chemical*. – 2013. – P. 9-14.
6. Гарзанов, А. Л. Эффективные технологии очистки сточных вод при убое скота и птицы / А. Л. Гарзанов, А. Б. Лисицын, Н. А. Горбунова, О. И. Ситникова, Т. М. Гиро // *Журнал Мясная продукция*. – 2016. – №11. – С. 28 – 30.
7. Dassey, A. J. Evaluating coagulation pretreatment on poultry processing wastewater for dissolved air flotation / A. J. Dassey, S. Chandra // *Journal of environmental science and health*. – 2012. – doi: 10.1080/10934529.2012.695946.
8. Boughou, N. Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat / N. Boughou, I. Majdy, E. Cherkaoui, M. Khamar, A. Nounah // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2018. – 149. – P. 02091. – doi: 10.1051/mateconf/201814902091.

9. Loloei, M. Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries / M. Loloei, H. Alidadi1, G. Nekonam, Y. Kor // *International Journal of Environmental Health Engineering*. – 2014. – 3. – 1. – P. 12. – doi: 10.4103/2277-9183.132684.
10. Makhlay, K. A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise / K. Makhlay, M. Tseitlin, V. Raiko // *Eastern-European journal of enterprise technologies - PC "TECHNOLOGY CENTER"*. – 2018. – 3/10 (93). – P. 15-20. – doi: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
11. Спиридонова, Л. Г. Отработка режимов очистки сточных вод птицефабрики по переработке мяса индеек / Л. Г. Спиридонова // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. – 2013. – S4. – С. 70-74.
12. Mahtab, A. Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater / M. Ahmad, M. Tariq, T. Shafiq, A. Nasir // *Desalination and Water Treatment*. – 2009. – 12. – 1-3. – P. 270-275. – doi: 10.5004/dwt.2009.952.

References (transliterated)

1. Menshutina, U. A., Potanina, V. A., Kerin, A. S., Bogateev, I. A., Fomicheva, U. V., Sakhno, A. P., Kerin, K. A. Modernizatsiya tekhnologii ochistki zhirusoderzhashchikh stochnykh vod [Wastewater treatment technology modernization of fat-containing wastewater]. *Ptitsvodchstvo [Poultry farming]*, 2010, 2, 41-44.
2. Nacheva, P., Pantoja, M., Serrano, E. Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Science & Technology*, 2011, 63(5), 878 – 885, doi: 10.2166/wst.2011.265.
3. Bustillo-Lecompte, C., Mehrvar, M., Quiñones-Bolaños, E. Combined Anaerobic – Aerobic and UV/H₂O₂ Processes for the Treatment of Synthetic Slaughterhouse Wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*, 2013, 48, 1122 – 1135.
4. Sugito, D. K. The effect of BOD remove influent to remove pollutant load in waste water of chicken slaughterhouse. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016, 11, 3519 – 3524, doi: 10.1080/10934529.2013.774662.
5. Dabhi, M. Physicochemical treatment of dairy plant wastewater using ferrous sulfate and ferric chloride coagulants. *International Journal of Basic and Applied Chemical Sciences*, 2013, 4(3), 9 – 14.
6. Harzanov, A. L., Lysytsin, A. B., Horbunova, N. A., Sytnykova, O. Y., Hyro, T. M. Effektivnye tekhnologii ochistki stochnykh vod pri uboe skota i ptitsy [Effective wastewater treatment technologies for treatment wastewater from cattle and poultry slaughterhouse]. *Zhurnal Myasnaya produktsiya [Journal Meat Industry]*, 2016, 11, 28 – 30.
7. Dassey, A. J., Chandra, S. Evaluating coagulation pretreatment on poultry processing wastewater for dissolved air flotation. *Journal of environmental science and health*, 2012, doi:10.1080/10934529.2012.695946.
8. Boughou, N., Majdy, I., Cherkaoui, E., Khamar, M., Nounah, A. (2018). Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat. *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2018, 149, 020091, doi: 10.1051/mateconf/201814902091.
9. Loloei, M., Alidadi1, H., Nekonam, G., Kor, Y. Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries. *International Journal of Environmental Health*

- Engineering*, 2014, **3**, 1, 12, doi: 10.4103/2277-9183.132684.
10. **Makhlay, K., Tseitlin, M., Raiko, V.** A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2018, **3/10** (93), 15-20, doi: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
11. **Spiridonova, L. G.** Otrabotka rezhimov ochistki stochnykh vod ptitse-fabriki po pererabotke myasa indek [Debugging technological regime of wastewater treatment for turkey meat processing plant]. *Vestnik SGASU Gradostroitelstvo i arkhitektura, [Messenger of SSUACE (Samara State University of Architecture and Civil Engineering) town planning and architecture]*. 2013, **4**, 70 – 74.
12. **Ahmad, M., Tariq, M., Shafiq, T., Nasir, A.** Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 2009, **12**, 270 – 275, doi: 10.5004/dwt.2009.952.

Сведения об авторах (About the Authors)

Махлай Константин Александрович – аспирант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Химической техники и промышленной экологии»; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-9685>; e-mail: cancermakh@gmail.com.

Konstantyn Makhlay – graduate student, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Department of chemical technique and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-9685>; e-mail: cancermakh@gmail.com.

Цейтлин Мисей Абрамович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Химической техники и промышленной экологии»; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2452-7814>; e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

Musii Tseitlin – Doctor of Technical Science, Professor, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Department of chemical technique and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2452-7814>; e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

Райко Валентина Федоровна – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Химической техники и промышленной экологии»; г. Харьков, Украина; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5527-1874>; e-mail: raiko.hpi@gmail.com.

Valentina Raiko – Candidate of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Department of chemical technique and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5527-1874>; e-mail: raiko.hpi@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Махлай, К. А. Очистка сточных вод убойного цеха птицефабрики / **К. А. Махлай, М. А. Цейтлин, В. Ф. Райко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 101-108. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13.

Please cite this article as:

Makhlay, K., Tseitlin, M., Raiko, V. Wastewater treatment by coagulation of poultry abattoir wastewater. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 101-108, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Махлай, К. О. Очищення стічних вод забійного цеху птахофабрики коагуляцією / **К. О. Махлай, М. А. Цейтлін, В. Ф. Райко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 101-108. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13.

АНОТАЦІЯ Для очищення стічних вод харчових підприємств, зокрема м'ясопереробних, широке поширення набула напірна флотація. Даний метод очищення досить надійний і ефективний особливо в поєднанні з попередньою коагуляцією. Запорукою високої ефективності роботи фізико-хімічної очистки є як налагодження гідравлічного режиму роботи флотатора, так і підбір найбільш підходящих реагентів, їх доз і умов середовища для їх застосування. Однак ця задача ускладнюється через високу несхожості стоків різних підприємств між собою, і, найчастіше, технологічні параметри роботи цього вузла не можуть бути спрогнозовані. У статті вивчені закономірності перебігу коагуляції стічних вод м'ясопереробного підприємства з застосуванням трьох типів коагулянтів: хлорне залізо, сірчанокисле залізо, поліоксихлорид алюмінію. В якості дослідження були прийняті стічні води діючого підприємства з переробки м'яса індички. Підприємство спеціалізується на виготовленні м'яса індички й м'ясних напівфабрикатів. Поступаючі стоки утворюються при забої, мийці і патранні птиці, а також мийці обладнання й прибиранні приміщень і містять велику кількість забруднень таких як: кров, перо, канига. Дослідження проводилися в два етапи. На першому етапі експериментально були визначені закономірності перебігу коагуляції в широкому діапазоні рН середовища і отримані графіки, що відображають залежність ефективності очищення за завислими речовинами і кольоровості від рН середовища. Потім, на другому етапі випробувань, були досліджені залежності ефективності очищення від дози коагулянту. В результаті проведених досліджень визначені найбільш сприятливі умови для проведення коагуляції і раціональні дози коагулянтів. При застосуванні сірчанокислого заліза найбільш сприятливим є рН = 5 ÷ 6, а доза 30 мг/л, хлорного заліза рН = 5 ÷ 6, доза 40 мг/л, а для поліоксихлориду алюмінію рН склав 5,5 ÷ 7, а доза коагулянту 60 мг/л. Важливою складовою ефективного очищення стоків на флотаторі є правильний підбір типу коагулянту, його дози і рН середовища для проведення коагуляції.

Ключові слова: коагулянт; поріг коагуляції; хлорне залізо; сірчанокисле залізо; стічні води птахофабрики; локальна очистка; технологічний режим; доза коагулянту.

Поступила (received) 01.05.2019